冷却塔重防腐蚀涂料研究与涂装工艺

宋志荣，刘新，骆惠

(佐敦涂料(张家港)有限公司，江苏张家港215635)

摘要：混凝土冷却塔是火电厂重要的组成部分之一，近年来，其防腐蚀问题已经受到广泛的重视。本文介绍了国内首个排烟冷却塔和海水冷却塔防腐蚀工程案例，从冷却塔不同的循环介质、塔体内部各部位工况不同两个方面介绍了重防腐涂料在电厂冷却塔防护方面的应用，并对混凝土的表面处理和涂料涂装工艺对冷却塔防腐寿命和防腐效果进行了讨论。

关键词：冷却塔；混凝土；重防腐；酚醛环氧；玻璃鳞片涂料

0.引言

冷却塔是热电厂的重要组成之一，属大型钢筋混凝土砼构筑物，主要由现浇钢筋混凝土塔体(包括人字柱、环梁、筒壁)、蓄水池和塔内淋水构件组成。目前 的热电厂冷却塔根据循环介质主要有以下几种：淡水冷却塔、空冷冷却塔、排烟冷却塔、海水冷却塔。以前国内的冷却塔有的没有进行涂层保护，有的仅在冷却塔混 凝土浇筑的同时，利用浇筑塔筒时搭建的脚手架滚涂环氧沥青漆、 氯化橡胶漆或氯璜化聚乙烯涂料等进行简单防护。基本不考虑混凝土的养护期，既不用等塔体完工后进行高空作业，也不对混凝土进行表面处理，直接在混凝土浮浆 层上滚涂涂料。这类冷却塔在运行几年后腐蚀就相当严重，有的甚至渗漏。随着科技的进步以及人们对环保和节能意识的提高，冷却塔的功能越来越强大，冷却介质 对混凝土的要求也越来越苛刻。业主和设计师更加看重设备、设施的寿命周期成本，对冷却塔的防腐蚀问题也越来越重视。本文就腐蚀较为严重的排烟冷却塔和海水 冷却塔为例，探讨对冷却塔用涂料进行防腐蚀防护的方案。

1.混凝土的腐蚀

冷却塔是钢筋混凝土结构，由硅酸盐水泥、填充料、水和助剂等 混合后浇注而成，同时用钢筋骨架来增加混凝土构件的强度。在一般情况下，混凝土本身具有高碱性(pH 值≥12.5)，在这样高碱性的环境中使钢筋表面形成 一层致密的钝化膜而处于稳定状态。但由于受到外界环境侵蚀介质的作用，如氯离子、硫酸盐、二氧化碳等，钢筋表面的钝化膜受到破坏，成为活化状态，钢筋就开 始腐蚀，各项力学性能严重下降。导致在小于设计基准期钢筋混凝土结构就被破坏。

2.冷却塔的腐蚀防护

2.1排烟冷却塔的腐蚀环境

火电厂烟气经除尘、脱硫后，一种方式是对烟气再加热后(由45～65℃加热至80℃以上)经烟囱排放；另一种方式是借助冷却塔的热空气抬升作用经冷 却塔排放，即烟塔合一技术(如图1所示)。烟塔合一技术是在大多数情况下，其混合气体的抬升高度远高于烟囱，从而促进烟气内污染物的扩散。同时该技术可提 高电力系统能源利用效率，简化电厂烟气系统的工艺

设计，而且避免烟囱建设和施工，节省烟囱地下基础和烟囱本身建设费用，降低电厂投资。

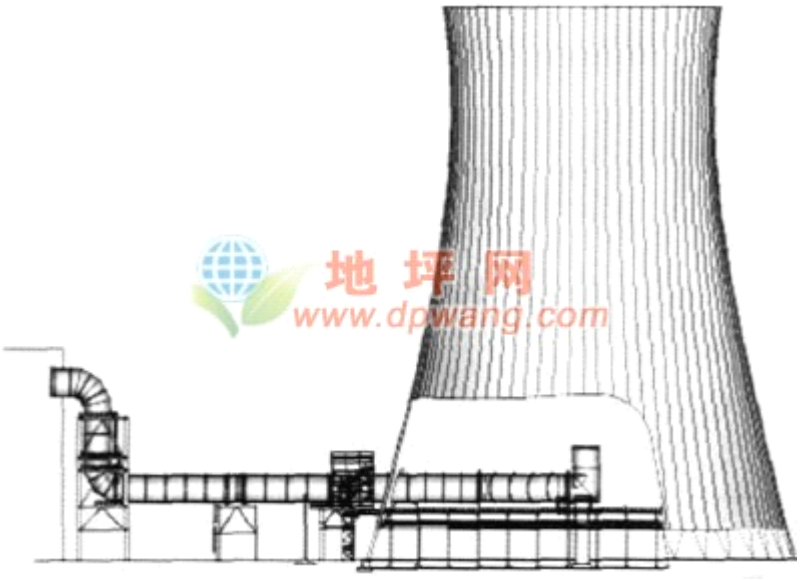


图1烟塔合一技术的排烟冷却塔示意图

采用烟塔合一技术的排烟冷却塔的环境介质的腐蚀性将比常规冷却塔更严重[1]。经过脱硫、脱硝后的净烟气通过玻璃钢烟 道直接进入自然通风冷却塔内与水蒸气混合后排入大气，烟气中的腐蚀介质(CO2、SO2、SO3、HCl 及 HF)将与水蒸气接触，遇冷凝结的水滴回落冷却塔并在冷却塔筒壁形成大的液滴。溶有腐蚀介质的液滴呈弱酸性(局部 pH 值可能达到1)[2]，长期的积累效应会对冷却塔的壳体产生严重的腐蚀，而且烟气中 的腐蚀介质在紫外线作用下将加剧塔体结构的腐蚀作用。因而必须对冷却塔壳体表面等部位采取防腐处理，冷却塔的防腐处理对冷却塔的结构安全至关重要。尽管排烟冷却塔中排入的经过脱硫、脱硝的烟气已为洁净烟气，但不可能除尽的 SO2、HCl 以及大量的 CO2等气体，与水蒸气结合后仍具有较强的腐蚀作用。某电厂排烟冷却塔中的烟气成分如表1、表2所示[3]。

项目	参数
$\phi(CO_2)$ /%	11.77
$\phi(O_2)$ /%	5.53
$\phi(N_2)$ /%	70.67
$\phi(H_2O)$ /%	12.02
- SOx以 SO_2表示 /($mg \cdot Nm^{-3}$)	203.5
- SO_3 /($mg \cdot Nm^{-3}$)	≤28
- HCl以 Cl表示 /($mg \cdot Nm^{-3}$)	≤8
- HF以 F表示 /($mg \cdot Nm^{-3}$)	≤5
-烟尘 /($mg \cdot Nm^{-3}$)	≤26
-除雾器出口液滴含量 /($mg \cdot Nm^{-3}$)	≤75
-最小液滴尺寸 (液滴测量方法：冲击测量法) / μm	20
FGD出口烟气温度 /℃	80
FGD出口烟气压力为 /Pa	247 (入口烟气压力为 50 Pa时)

表1某电厂吸收塔出口净烟气成分

注：mg·Nm-3—mg 每个标准体积。

项　目	数　值
氯化物/($mg \cdot L^{-1}$)	~5 500
硫酸根/($mg \cdot L^{-1}$)	~7 600
硝酸根/($mg \cdot L^{-1}$)	~500
氟化物/($mg \cdot L^{-1}$)	~50
pH 值	~1.0

表2某电厂烟气冷凝水的成分分析

排烟冷却塔内介质腐蚀性强，工况复杂，不同的部位具有不同的腐蚀特点。冷却塔内部烟道排出的烟气遇水汽凝结成酸性液滴，风筒内表面喉部以上该部位受酸性液滴的腐蚀，太阳光紫外线的照射，并且涂层要耐**混凝土**基 材强碱性。由于冷却塔风筒高度通常在一两百米，而风筒内部的烟囱仅为几十米高，而且烟囱口远低于双曲线的喉部。冷却塔运行后，风筒内壁喉部以下部位尤其是 淋水构架处于流动、喷涌、飞溅、溢流等动态循环水环境中。为了防止冷却塔循环水生长微生物、水生植物、苔癣等，循环水中都添加了水处理药剂。**防腐涂料**要求耐酸、耐碱、耐水渗透、耐冲刷、耐冲击、耐磨、耐冻融性，耐水处理中添加的防垢剂、缓蚀剂、杀生剂等**添加剂**的侵蚀。人字柱及水池在冷却塔运行时长期处于流动、喷涌、飞溅及浸没的环境下，**防腐涂料**要求：耐碱、耐水渗透、浸泡、耐冲刷、耐磨、耐水处理添加剂的侵蚀。风筒外表面主要受到太阳光紫外线的照射，酸雨的侵蚀，以及二氧化碳的碳化等腐蚀。**防腐**涂料要求耐碱、耐酸、耐紫外线照射、耐老化、面漆具有良好的装饰性。

2.2排烟冷却塔防护涂料系统

根据腐蚀环境的不同，排烟冷却塔主要分为内表面喉部以上、喉部以下包括竖井、水槽、淋水架构、人字柱及水池和风筒外表面等几个部分进行防腐蚀涂装保护，见表3。

2.3海水冷却塔的腐蚀环境

海水循环冷却技术是我国沿海城市和地区急需的环保型节水高新技术，可广泛应用于沿海城市和苦咸水地区的电力、石化、化工、钢铁等多种耗水型行业。在 目前水资源紧缺的情况下，采用海水代替淡水是我国沿海城市和地区解决淡水资源危机问题的重要途径之一。[4]在夏天，海水的温度比淡水更低，因此，热交换 效率更高[5]。为了降低水的消耗，海水循环技术正在逐渐代替海水直流。浙江宁海电厂是国内首创的海水冷却塔，冷却介质为二次循环海水，即海水浓缩倍数为 2。冷却塔高177.2m，进风口直径达13314m，淋水面面积达1.3万 m2，建成后将成为国内外首屈一指的特大型冷却塔之一。海水冷却塔有巨大的优 势，但海水冷却塔混凝土的防腐蚀问题严峻。海水中含有大量的氯化物，氯化物极易诱发混凝土、钢筋腐蚀和锈蚀，主要原因如下[6]。

部位	涂料系统	干膜厚度 /μm	备注
喉部以上	环氧封闭漆 酚醛环氧涂料 脂肪族聚氨酯面漆	50 2 ×150 50	耐酸 ,耐阳光照射 ,表面光滑有助于烟气升腾
喉部以下 ,包括竖井 、水槽 、淋水架构	环氧封闭漆 酚醛环氧涂料	2 ×150 50	耐酸 ,耐碱 ,耐水渗透 、耐中涮 、耐冲击 、耐磨 、耐冻融性 ,耐水处理添加剂的侵蚀
人字柱及水池	环氧封闭漆 改性环氧涂料 脂肪族聚氨酯面漆	50 2 ×150 50	耐水渗透 、耐冲刷 、耐浸泡 ,耐水处理添加剂的侵蚀
风筒外表面	环氧封闭漆 丙烯酸面漆	50 2 ×50	耐酸雨 ,耐碳化 ,耐紫外线照射 ,耐老化 ,具有良好的装饰性

表3排烟冷却塔的防护涂料系统

2.3.1“钝化膜”被局部破坏

氯化物侵入混凝土后，Cl-取代 OH-吸附在钢筋表面， 当钢筋表面的 OH-的浓度降低到一定程度时，覆盖在钢筋表面的金属氢氧化物和金属氧化物开始分解，即受到氯化物污染和侵蚀处的“钝化膜”开始被破坏，钢筋开始腐蚀。

2.3.2形成腐蚀电池

由于 Cl-的作用使得钢筋表面形成电势差，出现了阴极和阳极。在原电池的作用下，钢筋会持续腐蚀，并且 Cl-在这个过程中不被消耗，会被重复地循环利用。

2.3.3降低混凝土电阻的作用

氯化物侵入混凝土后，混凝土中的 Cl-、Na+和 Ca2+等离子都会参与混凝土中的离子导电，降低钢筋表面混凝土电阻，提高腐蚀电池的效率，从而大 大加快了混凝土中钢筋腐蚀的进程。为了更好地保护设备，二次循环海水还不可避免地添加更多的水处理剂，这其中包括防

垢剂、阻垢剂，缓释剂，杀生剂等。这些 化学试剂对防腐涂料的性能提出了更高的要求。

2.4浓缩海水冷却塔的涂料防护方案

根据腐蚀环境的不同，海水冷却塔主要分为混凝土表干区、混凝土表湿区、混凝土外表面区。混凝土表干区包括中央竖井顶标高以上塔筒壁内壁，混凝土表湿 区包括中央竖井顶标高以下塔筒壁内壁、淋水构架、配水槽、中央竖井、压力进水沟、水池内壁、人字柱、人字柱支墩、循环水沟、循环水泵房等与浓缩海水接触表 面。冷却塔运行后，混凝土表湿区尤其是淋水构架处于流动、喷涌、飞溅、溢流等动态循环水环境中，沟道内水流速度最高至5m/s，淋水构件梁柱承受最高至 15m 水头的水流冲刷。这对涂料有较高的耐冲刷、耐冲击、耐磨的要求。二次循环的海水冷却塔涂料工作的最高温度可达60℃，温度升高，腐蚀加剧。为了防止 冷却塔循环水生长微生物、水生植物、苔癣等，循环水中还添加了水处理药剂。因此，涂料性能要求具备耐海水，耐热，耐水渗透、耐冲涮、耐冲击、耐磨、耐碱、 耐水处理剂的侵蚀。风筒外表面主要受到太阳光紫外线的照射，酸雨的侵蚀，以及二氧化碳的碳化等腐蚀[7]。各部位防腐蚀配套如表4所示。

部位	涂料系统	干膜厚度 /μm	备注
混凝土表干区	环氧封闭漆 改性环氧玻璃鳞片漆 脂肪族聚氨酯面漆	50 300 100	耐海水 ,耐紫外 ,耐老化 ,表面光滑有助于烟气升腾
混凝土表湿区	环氧封闭漆 改性环氧玻璃鳞片漆 脂肪族聚氨酯面漆	50 2 ×250 100	耐海水 ,耐热 ,耐水渗透 、耐冲刷 、耐冲击 、耐磨 ,耐水处理中添加剂的侵蚀
混凝土外表面区	环氧封闭漆 丙烯酸面漆	50 2 ×50	耐酸雨 ,耐碳化 ,耐紫外线照射 ,耐老化 ,具有良好的装饰性

表4海水冷却塔的防护涂料系统

3.却塔涂料施工工艺

3.1混凝土基材施工环境要求

冷却塔的腐蚀防护不同于其他结构，混凝土基材的涂装施工完全不同于钢材表面的施工要求，基本要求见表5。

3.2表面处理

(1)除油根据 SSPC-SP1规范。

(2)喷砂或高压喷水处理。

项目	环境要求
混凝土强度	符合设计要求
含水量	<6%
表面油污	溶剂或洗涤剂清洗 SSPC SP1
高压淡水冲洗	SSPC SP12/NACE 5
打磨或喷砂	SSPC SP13/NACE No. 6
硬化期	28 d,温度 20 ℃,相对湿度 65%的条件下
混凝土结构	混凝土表面模板缝,平整度不大于 5 mm
相对湿度	<85%
表面温度	<50 ℃
露点温度	底材表面温度至少高于露点温度 3 ℃

表5混凝土基材的施工环境要求

混凝土在浇注过程中不可避免地产生气泡，混凝土表面都有一层浮浆层，在进行表面处理前看似平整，其实内部有不少孔洞。尤其是在每块模板的顶部或者倾 斜部位的上部气泡较多，出现内部暗泡的可能性也较大。要求表面处理完全将气泡打开，需将所有“外小里大”的气孔喷砂处理成开放式，水能自动顺沿下流，不能 有凹陷积水处。表面处理要求全部处理掉混凝土表面的浮浆层，避免因为浮浆层松散、脱落导致漆膜脱落的问题。

(3)打磨处理。

将错台、棱角等所有影响涂漆或涂刷不到的缺陷用动力工具打磨处理。

3.3喷漆

(1)预涂装

在进行喷涂之前，检查是否有喷涂不易达到的部位，如有，则需要用刷涂的方法对其进行预先的涂装，以保证所有的混凝土表面都涂到涂料，且涂膜厚度大体一致。

(2)统喷

建议采用无气喷涂进行施工。

在风速超过2级时不宜进行喷涂，否则涂料浪费严重而且易造成干喷，涂料不成连续的涂膜、涂膜无光泽。喷枪离基材表面距离以350～450mm 为宜。 避免距离过近造成橘皮，流挂、过厚或过远造成成膜不连续、粗糙、漆雾和涂料的极度浪费。在后道工序施工之前，应确认其涂装间隔时间满足技术要求。

4.结语

本文讨论了排烟冷却塔和海水冷却塔的腐蚀环境和导致**混凝土**腐蚀的主要影响因素，并针对不同冷却塔的腐蚀环境提出了以酚醛环氧和改性环氧玻璃鳞片漆为主的**防腐**蚀配套。本文提出的两种冷却塔的防腐蚀方案充分考虑了各部位的腐蚀环境及防护要求，针对不同的部位设计不同的涂料配套、不同的膜厚。该配套体系突破了以往采用环氧**沥青**、 氯化橡胶、氯璜化聚乙烯等单一涂料，单一膜厚的防腐蚀配套，具有低 VOC 排放，低毒性，高防腐蚀性能的特点，具有最大限度保护和美观冷却塔的效果。混凝土 的表面处理是混凝土防护的一个重要部分。混凝土表面处理方法可以避免因混凝土浮浆层脱落导致防腐失效，避免出现混凝土常见的“外小里大”的暗泡导致长期积 水从而加速腐蚀的现象。